

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яковлева Константина Сергеевича
«Методы и алгоритмы эвристического поиска на графах регулярной
декомпозиции в задачах планирования траекторий мобильных роботов»,
представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических
наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное
обучение»

Диссертационная работа К.С. Яковлева представляет собой завершённое исследование в области искусственного интеллекта, теории графов и алгоритмов планирования, посвящённое развитию методов эвристического поиска в задачах навигации мобильных роботов. Работа выгодно отличается тем, что не ограничивается исследованием одной частной постановки задачи поиска и планирования, а охватывает сразу несколько важных направлений: поиск в динамической среде, многоагентное планирование, учёт геометрических ограничений и построение обучаемых эвристических функций, интегрируемых с классическими алгоритмами поиска. Автором убедительно показано, что известные на данный момент способы решения этих задач обладают существенными недостатками, которые устраняются в работе.

Значимую научную и прикладную ценность представляют предложенные автором подходы к сокращению перебора, реализуемые в авторских алгоритмах эвристического поиска. Предложенные методы допускают перемещения между произвольными вершинами графа, при этом сохраняют важные теоретические гарантии и отличаются повышенной практической эффективностью.

Существенный интерес представляет разработанный алгоритм поиска пути на динамическом графе регулярной декомпозиции, основанный на принципе безопасно-интервального планирования и оригинальном подходе к обращению направления поиска. Предложенный алгоритм ТО-АА-SIPP, в отличие от известных аналогов, поддерживает перемещения в произвольном направлении и при этом обладает строгими гарантиями полноты и оптимальности. Не менее важными являются алгоритмы, направленные на поиск субоптимальных решений, в которых за счёт переназначения родительского указателя, использования решёток переходов и фокусировки поиска достигается значительный выигрыш в вычислительной эффективности при весьма умеренном ухудшении качества решений.

Отдельного внимания заслуживают результаты, посвящённые многоагентному планированию, т.е. поиску совокупности неконфликтных путей на графе. Автором предложены новые алгоритмы конфликтно-ориентированного и приоритизированного поиска совокупности неконфликтных путей на графах регулярной декомпозиции с возможностью перемещений между произвольными вершинами. Используемые в алгоритмах техники формирования мульти-ограничений, фокусировки поиска и переназначения приоритетов позволяют существенно расширить масштаб решаемых задач без отказа от гарантий качества там, где такие гарантии принципиально важны. Предложенные алгоритмы не только теоретически обоснованы, но и экспериментально апробированы на реальных робототехнических платформах.

Определенную ценность имеют и результаты в области планирования с косвенным учётом кинематических ограничений мобильных роботов. Предложенное семейство алгоритмов LIAN и D-LIAN позволяет искать траектории с ограничением на максимальный угол поворота, что может положительно влиять на безопасную и устойчивую навигацию мобильных робототехнических систем на практике. Важным достоинством этой части работы является сочетание аккуратной формализации задачи, доказанных теоретических свойств и обширного экспериментального исследования.

Следует особо отметить и главу, посвящённую автоматическому построению эвристических функций с помощью современных методов машинного обучения. В работе предложен не просто подход к обучению эвристик, но и, что особенно важно, способы их интеграции с классическими алгоритмами поиска, сохраняющие корректность, полноту и в ряде случаев гарантии ограниченной субоптимальности. Такой результат представляется весьма значимым, поскольку он демонстрирует содержательное, а не декларативное объединение методов машинного обучения и классического алгоритмического поиска. Весьма интересно и убедительно выглядит и применение разработанных подходов к задаче планирования пути по спутниковому снимку местности.

Предложенные в работе методы и алгоритмы теоретически исследованы, реализованы программно, исследованы на открытых и авторских наборах данных, сопоставлены с современными мировыми аналогами и, в ряде случаев, проверены на реальных мобильных роботах. Использование как стандартных коллекций задач, так и собственных наборов данных, а также проведение экспериментов на роботах повышают доверие к полученным результатам и подтверждают их практическую значимость.

Диссертационная работа Яковлева К.С. выполнена на высоком научном уровне и вносит заметный вклад в развитие методов интеллектуального планирования и эвристического поиска, открывая перспективы для повышения автономности современных мобильных робототехнических систем. Результаты работы представляют интерес как для специалистов в области искусственного интеллекта и алгоритмов поиска, так и для исследователей в области робототехники.

Вопросов к структуре автореферата не возникает, изложение отличается ясностью и научной строгостью. Тем не менее, имеются некоторые замечания.

1. В автореферате подробно представлены отдельные теоретические результаты и гарантии для конкретных алгоритмов, однако представляет интерес вопрос о том, насколько полученные гарантии зависят от особенностей выбранной модели графа регулярной декомпозиции и типах допустимых переходов.
2. В разделе автореферата, посвящённом обучаемым эвристическим функциям, описание самих нейросетевых моделей и процедур обучения дано относительно компактно. В частности, хотелось бы более подробно увидеть обсуждение устойчивости результатов к выбору архитектуры, гиперпараметров и обучающих выборок, а также границ переносимости обученных моделей на существенно отличающиеся классы карт и сцен.

Отмеченные замечания не снижают общей высокой оценки выполненного исследования. Диссертация К.С. Яковлева представляет собой завершённую, целостную научно-квалификационную работу, в которой решена крупная научная проблема,

связанная с разработкой новых методов и алгоритмов эвристического поиска на графах регулярной декомпозиции для задач планирования траекторий мобильных роботов. Работа содержит результаты, имеющие существенное значение для развития специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение».

Полагаю, что диссертация полностью удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Яковлев Константин Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение».

*Ординарный профессор факультета компьютерных наук
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
доктор физико-математических наук*

С.О. Кузнецов

**СПЕЦИАЛИСТ ПО
КАДРОВОМУ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВУ
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
ЗИМА В.А.**



Подпись заверяю